



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.06.2022 Patentblatt 2022/26

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 1/00 ^(2006.01) **F25J 1/02** ^(2006.01)
F25J 5/00 ^(2006.01) **F28D 7/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20020645.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F25J 1/0022; F25J 1/0052; F25J 1/0085;
F25J 1/0262; F25J 5/005; F28D 7/024;
F25J 2250/02; F28D 2021/0033

(22) Anmeldetag: **23.12.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

- **Seeholzer, Christoph**
83308 Trostberg (DE)
- **Matamoros, Luis**
81369 München (DE)
- **Müller-Thorwart, Ole**
82223 Eichenau (DE)
- **Deichsel, Florian**
81373 München (DE)
- **Gewald, Stefan**
82061 Neuried (DE)

(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(74) Vertreter: **Meilinger, Claudia Sabine**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
• **Spreemann, Jürgen**
83022 Rosenheim (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM VERFLÜSSIGEN VON ERDGAS**

(57) Ein Verfahren zum Verflüssigen von Erdgas mit Hilfe eines gewickelten Wärmetauschers (1A, 1B), mit folgenden Schritten: a) Einspeisen (S1) des zu verflüssigenden Erdgases in ein Rohrbündel (13) des Wärmetauschers (1A, 1B), und b) Entziehen (S2) von Wärme aus dem Erdgas mit Hilfe eines Kältemittels (K), welches das Rohrbündel (13) durchspült, wobei das Kältemittel (K) innerhalb des Wärmetauschers (1A, 1B) mehrfach durch das Rohrbündel (13) geleitet wird, um in dem Wärmetauscher (1A, 1B) einen Kältemittelumlauf zu erzeugen.

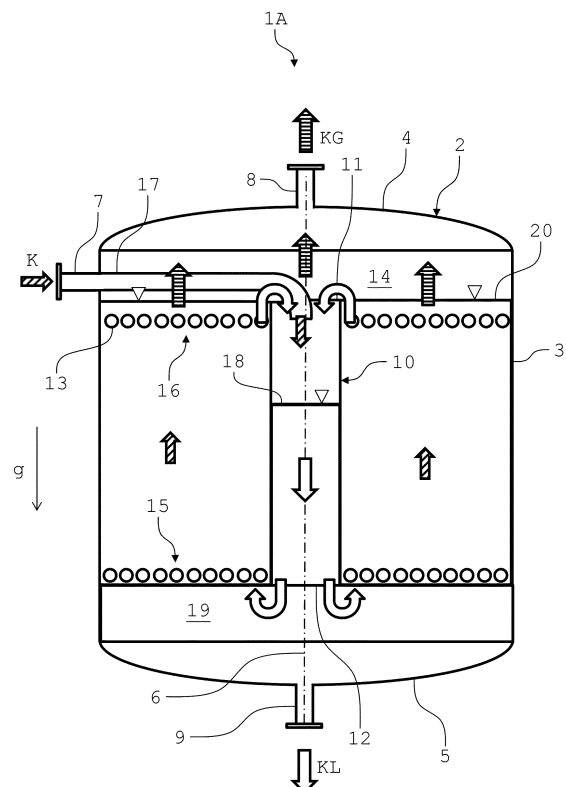


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verflüssigen von Erdgas mit Hilfe eines gewickelten Wärmetauschers.

[0002] Als Flüssigerdgas (Engl. Liquefied Natural Gas, LNG) wird durch Abkühlung auf -161 bis -164 °C verflüssigtes aufbereitetes Erdgas bezeichnet. Flüssigerdgas weist nur einen Bruchteil des Volumens von gasförmigem Erdgas auf. Besonders zu Transport- und Lagerungszwecken hat Flüssigerdgas daher große Vorteile. Das Flüssigerdgas kann als Flüssiggut in geeigneten Transportbehältern auf der Straße, der Schiene oder auf dem Wasser transportiert werden.

[0003] Zur Vorkühlung des zu verflüssigenden Erdgases kann gemäß betriebsinternen Erkenntnissen eine Kaskade an Geradrohrwärmetauschern eingesetzt, bei der ein Kältemittel, beispielsweise Ethan, auf verschiedenen Druckstufen verdampft und somit das Erdgas herunterkühlt. Auf Grund von Baubareitsgrenzen können dabei mehrere Wärmetauscher parallel erforderlich sein. Als Alternative können auch sogenannte Coil Wound Heat Exchanger (CWHE) oder gewickelte Wärmetauscher eingesetzt werden, bei denen das Kältemittel teils aus einem Sumpf des Wärmetauschers heraus verdampft.

[0004] Eine Verdampfung aus dem Sumpf beziehungsweise sogenanntes Behältersieden kann dazu führen, dass ein Rohrbündel des Wärmetauschers in seinem oberen Teil trocken laufen kann, was zu einem geringeren Wärmeübergang führen kann. Darüber hinaus können bei der Verdampfung über das Behältersieden in der Regel kleinere Wärmeübergangskoeffizienten erreicht werden, als diese in Verbindung mit zusätzlichem Konvektionsanteil möglich wären. Daraus ergibt sich eine größere benötigte Heizfläche. Dies gilt es zu verbessern.

[0005] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren zum Verflüssigen von Erdgas zur Verfügung zu stellen.

[0006] Demgemäß wird ein Verfahren zum Verflüssigen von Erdgas mit Hilfe eines gewickelten Wärmetauschers vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: a) Einspeisen des zu verflüssigenden Erdgases in ein Rohrbündel des Wärmetauschers, und b) Entziehen von Wärme aus dem Erdgas mit Hilfe eines Kältemittels, welches das Rohrbündel durchspült, wobei das Kältemittel innerhalb des Wärmetauschers mehrfach durch das Rohrbündel geleitet wird, um in dem Wärmetauscher einen Kältemittelumlauf zu erzeugen.

[0007] Durch das Realisieren des Kältemittelumlaufs in dem Rohrbündel kommt es zu einem lokal höheren Anteil einer flüssigen Phase des Kältemittels in dem Rohrbündel sowie zu einem höheren mantelseitigen Wärmeübergangskoeffizienten. Hierdurch lässt sich der Wärmeübergang erhöhen. Ferner lassen sich die Heizfläche und die Kosten für den gewickelten Wärmetauscher reduzieren.

[0008] Der gewickelte Wärmetauscher ist ein sogenannter Coil Wound Heat Exchanger (CWHE). Der gewickelte Wärmetauscher wird nachfolgend jedoch lediglich als Wärmetauscher bezeichnet. Der Wärmetauscher kann auch zur Verflüssigung von anderen Medien als Erdgas eingesetzt werden. Das Rohrbündel ist insbesondere mehrlagig auf ein Kernrohr aufgewickelt. Der Wärmetauscher umfasst neben dem Rohrbündel und dem Kernrohr einen das Rohrbündel aufnehmenden Mantel. Innerhalb des Mantels wird ein Umlauf oder Kreislauf des Kältemittels erzeugt, welcher durch das Rohrbündel hindurchgeleitet wird.

[0009] Das Rohrbündel umfasst eine Rohrseite und eine Mantelseite. Unter der "Rohrseite" ist vorliegend ein von Rohren des Rohrbündels umschlossener Innenraum zu verstehen, durch welchen das zu verflüssigende Erdgas geleitet wird. Das Erdgas wird somit in die Rohre des Rohrbündels eingespeist. Unter "mantelseitig" ist vorliegend ein Bereich außerhalb der Rohre des Rohrbündels zu verstehen. Mantelseitig strömt das Kältemittel durch das Rohrbündel hindurch. Durch das Rohrbündel führt eine Vielzahl an Spalten oder Passagen, durch welche das Kältemittel hindurchgeleitet wird. Darunter, dass das zu verflüssigende Erdgas in das Rohrbündel "einspeist" wird, ist insbesondere zu verstehen, dass das Erdgas in Rohre des Rohrbündels eingeleitet wird.

[0010] Das Kältemittel kann beispielsweise Ethan sein. Es kann jedoch auch jedes andere beliebige Kältemittel eingesetzt werden. Ein Kältemittel ist geeignet, Enthalpie von dem Kühlgut, vorliegend das zu verflüssigende Erdgas, zur Umgebung zu transportieren. Der Unterschied zum Kühlmittel ist, dass ein Kältemittel diesen Wärmetransport in einem Kältekreis entlang einem Temperaturgradienten durchführen kann, so dass unter Aufwendung von zugeführter Energie die Umgebungstemperatur sogar höher sein darf als die Temperatur des zu kühlenden Gegenstandes, während ein Kühlmittel lediglich in der Lage ist, in einem Kühlkreis die Enthalpie entgegen dem Temperaturgradienten zu einer Stelle niedrigerer Temperatur zu transportieren. Durch das Entziehen von Wärme aus dem Erdgas wird dieses verflüssigt. Das verflüssigte Erdgas kann als Liquefied Natural Gas (LNG) bezeichnet werden.

[0011] Dass das Kältemittel das Rohrbündel "durchspült" oder "umspült" bedeutet vorliegend insbesondere, dass das Kältemittel mantelseitig durch das Rohrbündel hindurchgeleitet wird. Hierzu sind in dem Rohrbündel Passagen oder Spalte vorgesehen. Das Kältemittel kommt dabei mit dem Erdgas nicht in direkten Kontakt. Vorzugsweise umfasst das Kältemittel eine gasförmige Phase und eine flüssige Phase, die ineinander übergehen können. Durch das Rohrbündel hindurch wird das Kältemittel bevorzugt zweiphasig geleitet.

[0012] Gemäß einer Ausführungsform wird das Kältemittel entgegen einer Schwerkraftrichtung von einer Eintrittsseite des Rohrbündels zu einer Austrittsseite des Rohrbündels durch das Rohrbündel geleitet.

[0013] Das Rohrbündel weist in seiner Gesamtheit be-

vorzugt eine zylinderförmige Geometrie auf. Bezüglich der Schwerkraftrichtung betrachtet bildet eine untere Stirnseite der zylinderförmigen Geometrie die Eintrittsseite. Eine obere Stirnseite der zylinderförmigen Geometrie bildet dann die Austrittsseite des Rohrbündels. Das Kältemittel steigt von der Eintrittsseite entgegen der Schwerkraftrichtung nach oben zu der Austrittsseite auf, wobei das Kältemittel in dem Rohrbündel zumindest teilweise verdampft wird. Es findet somit eine Umlaufverdampfung statt.

[0014] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel außerhalb des Rohrbündels entlang der Schwerkraftrichtung von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet.

[0015] "Außerhalb" bedeutet vorliegend insbesondere, dass das Kältemittel nicht durch das Rohrbündel hindurch von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet wird. Das heißt insbesondere, dass ein zusätzliches Bauteil, beispielsweise das zuvor genannte Kernrohr, vorhanden ist, um das Kältemittel von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite zu leiten. Insbesondere wird das Kältemittel innerhalb des Wärmetauschers beziehungsweise innerhalb des Mantels entlang der Schwerkraftrichtung von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform verdampft das Kältemittel bei dem Leiten desselben durch das Rohrbündel zumindest teilweise, wobei nur eine flüssige Phase des Kältemittels von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet wird.

[0017] Bei dem teilweisen Verdampfen des Kältemittels nimmt dieses Wärme aus dem Erdgas auf, um dieses abzukühlen. Das Kältemittel weist somit bei dem Durchtreten durch das Rohrbündel die flüssige Phase und eine gasförmige Phase auf. Die gasförmige Phase wird bevorzugt von dem Rohrbündel weggeleitet und somit nicht erneut der Eintrittsseite des Rohrbündels zugeführt.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die flüssige Phase innerhalb des Wärmetauschers mit von außerhalb des Wärmetauschers zugeführtem Kältemittel vermischt.

[0019] Hierdurch kann in dem Rohrbündel verdampfes Kältemittel ersetzt werden. Beispielsweise mischt sich das von außerhalb des Wärmetauschers zugeführte Kältemittel in dem Kernrohr mit dem von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geführten Kältemittel.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das von außerhalb des Wärmetauschers zugeführte Kältemittel über einen Einlassstutzen in den Wärmetauscher eingespeist.

[0021] Der Einlassstutzen kann beispielsweise seitlich an einem zylinderförmigen Basisabschnitt des Mantels vorgesehen sein. An dem Einlassstutzen kann eine Leitung montiert sein, welche das von außerhalb zugeführte Kältemittel in das Kernrohr einspeist. Das Kältemittel kann jedoch auch an jeder beliebigen anderen Stelle in den Wärmetauscher eingeleitet werden. Das heißt, dass der Einlassstutzen optional ist.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird

die flüssige Phase zumindest teilweise aus dem Wärmetauscher abgezogen.

[0023] Zum Abziehen der flüssigen Phase ist an dem Mantel des Wärmetauschers ein Abzugsstutzen vorgesehen. Der Abzugsstutzen ist bezüglich der Schwerkraftrichtung betrachtet bevorzugt unterhalb des Rohrbündels angeordnet. Der Abzugsstutzen kann an einem Deckelabschnitt des Mantels angebracht sein.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine bei dem zumindest teilweisen Verdampfen des Kältemittels gebildete gasförmige Phase des Kältemittels zumindest teilweise aus dem Wärmetauscher abgezogen.

[0025] Zum Abziehen der gasförmigen Phase des Kältemittels umfasst der Mantel des Wärmetauschers einen weiteren Abzugsstutzen. Bezüglich der Schwerkraftrichtung betrachtet ist dieser Abzugsstutzen bevorzugt oberhalb des Rohrbündels platziert.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel mit Hilfe eines Kernrohrs, auf welches das Rohrbündel aufgewickelt ist, von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet.

[0027] Das Kernrohr ist vorzugsweise zylinderförmig. Das Kernrohr ist bevorzugt mittig in dem Rohrbündel platziert. Das Rohrbündel kann mehrlagig auf das Kernrohr aufgewickelt sein. Stirnseitig ist das Kernrohr offen, so dass das Kältemittel durch das Kernrohr hindurchströmen kann.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel von der Austrittsseite über eine Oberkante des Kernrohrs in das Kernrohr geleitet.

[0029] Das Kältemittel beziehungsweise die flüssige Phase des Kältemittels staut sich an der Austrittsseite bis zu der Oberkante des Kernrohrs auf. Die flüssige Phase strömt dann über die Oberkante in das Kernrohr hinein. Die gasförmige Phase des Kältemittels tritt entgegen der Schwerkraftrichtung nach oben aus dem Kernrohr aus.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel von der Austrittsseite über zumindest einen in dem Kernrohr vorgesehenen radialen Schlitz in das Kernrohr geleitet.

[0031] Die Anzahl der Schlitze ist beliebig. Beispielsweise können drei derartige Schlitze vorgesehen sein. Für den Fall, dass die radialen Schlitze vorgesehen sind, ist es möglich, das Stirnrohr oberseitig, das heißt an seiner Oberkante, zu verschließen.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel mit Hilfe eines Ringspalts, welcher zwischen einem das Rohrbündel einhüllenden Hemd und einem Mantel des Wärmetauschers vorgesehen ist, von der Austrittsseite zu der Eintrittsseite geleitet.

[0033] Das Hemd kann ein rohrförmiges Bauteil sein, welches das Rohrbündel ummantelt oder einhüllt. Zwischen dem Hemd und dem Mantel ist der vollständig um das Rohrbündel umlaufende Ringspalt vorgesehen. In den Ringspalt kann auch das von außen zugeführte Kältemittel eingeleitet werden.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel von der Austrittsseite über eine Oberkante des Hemds in den Ringspalt geleitet.

[0035] Das heißt insbesondere, dass sich die flüssige Phase des Kältemittels an der Austrittsseite bis zu der Oberkante des Hemds aufstaut. Die flüssige Phase des Kältemittels strömt dann über die Oberkante in den Ringspalt hinein.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das Rohrbündel vollständig in das Kältemittel eingetaucht.

[0037] Wie zuvor erwähnt ist das Kältemittel innerhalb des Rohrbündels zweiphasig. Das heißt, dass innerhalb des Rohrbündels sowohl die flüssige Phase als auch die gasförmige Phase des Kältemittels vorliegen. Die gasförmige Phase kann in der flüssigen Phase Blasen bilden.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kältemittel dem Wärmetauscher zweiphasig zugeführt.

[0039] Das Kältemittel ist vorzugsweise Ethan. Es kann jedoch auch jedes andere geeignete Kältemittel eingesetzt werden. Das Kältemittel kann dem Wärmetauscher auch einphasig, insbesondere als flüssige Phase, zugeführt werden.

[0040] "Ein" ist vorliegend nicht zwangsweise als beschränkend auf genau ein Element zu verstehen. Vielmehr können auch mehrere Elemente, wie beispielsweise zwei, drei oder mehr, vorgesehen sein. Auch jedes andere hier verwendete Zählwort ist nicht dahingehend zu verstehen, dass eine genaue Beschränkung auf genau die entsprechende Anzahl von Elementen verwirklicht sein muss. Vielmehr sind zahlenmäßige Abweichungen nach oben und nach unten möglich.

[0041] Weitere mögliche Implementierungen des Verfahrens umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen oder Ausführungsformen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform des Verfahrens hinzufügen.

[0042] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele des Verfahrens. Im Weiteren wird das Verfahren anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittansicht einer Ausführungsform eines gewickelten Wärmetauschers;

Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform eines Kernrohrs für den gewickelten Wärmetauscher gemäß Fig. 1;

Fig. 3 zeigt eine schematische Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform eines gewickelten Wärmetauschers; und

Fig. 4 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Verflüssigen von Erdgas.

[0043] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0044] Die Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittansicht einer Ausführungsform eines gewickelten Wärmetauschers 1A (Engl.: Coil Wound Heat Exchanger, CWHE). Ein derartiger gewickelter Wärmetauscher 1A kann zur Verflüssigung von Erdgas (Engl.: Liquefied Natural Gas, LNG) eingesetzt werden. Es können jedoch auch andere Gase verflüssigt werden. Der gewickelte Wärmetauscher 1A wird nachfolgend lediglich als Wärmetauscher bezeichnet.

[0045] Der Wärmetauscher 1A umfasst einen Mantel 2. Der Mantel 2 ist aus einem zylinderförmigen Basisabschnitt 3 und zwei domförmig gewölbten Deckelabschnitten 4, 5 aufgebaut. Beispielsweise sind der Basisabschnitt 3 und die Deckelabschnitte 4, 5 miteinander verlötet, verschweißt, verschraubt oder vernietet. Der Mantel 2 ist fluiddicht. Der Mantel 2 kann aus einer Aluminiumlegierung oder aus einer Stahllegierung gefertigt sein. Der Mantel 2 ist im Wesentlichen rotationssymmetrisch zu einer Mittel- oder Symmetrieachse 6 aufgebaut. Der Deckelabschnitt 4 ist in einer Schwerkraftrichtung g betrachtet oberhalb des Deckelabschnitts 5 platziert.

[0046] An dem Basisabschnitt 3 ist ein Einlassstutzen 7 vorgesehen, der senkrecht zu der Symmetrieachse 6 orientiert ist. Über den Einlassstutzen 7 kann dem Wärmetauscher 1A ein Kältemittel K, beispielsweise Ethan, zugeführt werden. Das Kältemittel K kann zweiphasig sein, so dass dieses eine flüssige Phase KL und eine gasförmige Phase KG aufweist.

[0047] Das Kältemittel K ist in der Fig. 1 mit Hilfe von Blockpfeilen dargestellt. Dabei stehen Blockpfeile mit schräger Schraffur für einen zweiphasigen Zustand des Kältemittels K. Horizontal schraffierte Blockpfeile stehen für die gasförmige Phase KG des Kältemittels K. Unschraffierte Blockpfeile stehen für die flüssige Phase KL des Kältemittels K.

[0048] An dem Deckelabschnitt 4, der in der Orientierung der Fig. 1 oberseitig an dem Basisabschnitt 3 angebracht ist, ist ein Abzugsstutzen 8 vorgesehen. Über den Abzugsstutzen 8 kann die gasförmige Phase KG des Kältemittels K zumindest teilweise abgezogen werden. An dem Deckelabschnitt 5 ist dementsprechend ein Abzugsstutzen 9 angebracht, über den die flüssige Phase KL des Kältemittels K zumindest teilweise abgezogen werden kann.

[0049] In dem Mantel 2 ist ein zylinderförmiges Kernrohr 10 aufgenommen. Das Kernrohr 10 verläuft entlang der Schwerkraftrichtung g und ist rotationssymmetrisch zu der Symmetrieachse 6 aufgebaut. Das Kernrohr 10 umfasst eine Oberkante 11 und eine entlang der Schwerkraftrichtung g betrachtet unterhalb der Oberkante 11 platzierte Unterkante 12. Das Kernrohr 10 ist stirnseitig

offen. Das heißt, dass weder an der Oberkante 11 noch an der Unterkante 12 ein das Kernrohr 10 verschließender Deckel vorgesehen ist. Das Kernrohr 10 ist somit von dem Kältemittel K durchströmbar.

[0050] Auf das Kernrohr 10 ist ein Rohrbündel 13 aufgewickelt. Das Rohrbündel 13 ist mehrlagig und füllt einen zwischen dem Kernrohr 10 und dem Basisabschnitt 3 des Mantels 2 platzierten Ringspalt 14 zumindest abschnittsweise aus. In der Fig. 1 sind nur einzelne Rohre des Rohrbündels 13 gezeigt. Das Rohrbündel 13 erstreckt entlang der Symmetrieachse 6 betrachtet jedoch von der Oberkante 11 bis zu der Unterkante 12 des Kernrohrs 10. Durch das Rohrbündel 13 strömt ein zu verflüssigendes Medium, beispielsweise Erdgas. Das Rohrbündel 13 umfasst eine Vielzahl an Spalten oder Passagen, durch die das Kältemittel K strömen kann. Das Rohrbündel 13 umfasst eine Eintrittsseite 15 und eine Austrittsseite 16.

[0051] Von dem Einlassstutzen 7 führt eine Leitung 17 zu dem Kernrohr 10. Die Leitung 17 endet über oder unterhalb der Oberkante 11 des Kernrohrs 10. Mit Hilfe der Leitung 17 kann dem Kernrohr 10 das Kältemittel K zugeführt werden.

[0052] Die Funktionalität des Wärmetauschers 1A wird nachfolgend erläutert. Wie zuvor erwähnt, wird das Kältemittel K dem Kernrohr 10 über den Einlassstutzen 7 und die Leitung 17 aufgegeben. Das Kältemittel K weist hierbei zwei Phasen, nämlich die flüssige Phase KL und die gasförmige Phase KG, auf. Die flüssige Phase KL staut sich in dem Kernrohr 10 auf, so dass sich dort ein Flüssigkeitsstand 18 einstellt, welcher entlang der Schwerkraftrichtung g betrachtet unterhalb der Oberkante 11 des Kernrohrs 10 angeordnet ist. Der Flüssigkeitsstand 18 ist mit Hilfe eines Dreiecks illustriert.

[0053] Die gasförmige Phase KG steigt aus dem Kernrohr 10 entgegen der Schwerkraftrichtung g nach oben und kann über den Abzugsstutzen 8 zumindest teilweise abgezogen werden. Aufgrund von Dichteunterschieden des Kältemittels K im Kernrohr 10 und auf Seiten des Rohrbündels 13 strömt das Kältemittel K beziehungsweise die flüssige Phase KL entgegen der Schwerkraftrichtung g nach unten und verteilt sich auf das Rohrbündel 13.

[0054] Unterhalb des Flüssigkeitsstands 18 liegt in dem Kernrohr 10 lediglich die flüssige Phase KL vor. Der Mantel 2 ist in einem Bereich 19 unterhalb des Kernrohrs 10 und des Rohrbündels 13 mit der flüssigen Phase KL gefüllt. Zumindest ein Teil der flüssigen Phase KL kann über den Abzugsstutzen 9 abgezogen werden. Das Kältemittel K steigt als Zweiphasengemisch entgegen der Schwerkraftrichtung g von der Eintrittsseite 15 zu der Austrittsseite 16 durch das Rohrbündel 13 nach oben, wobei das Kältemittel K Wärme aus dem in dem Rohrbündel 13 aufgenommenen zu verflüssigenden Medium aufnimmt.

[0055] Das Kältemittel K verdampft bei dem Aufsteigen in dem Rohrbündel 13 zumindest teilweise, so dass das Kältemittel K zweiphasig ist. Es findet also in dem Rohr-

bündel 13 eine Teilverdampfung des Kältemittels K nach oben statt. Die gasförmige Phase KG steigt nach oben und kann über den Abzugsstutzen 8 zumindest teilweise abgezogen werden. Die flüssige Phase KL staut sich bis zu einem Flüssigkeitsstand 20, der sich bezüglich der Schwerkraftrichtung g auf derselben Höhe befindet wie die Oberkante 11. Der Flüssigkeitsstand 20 ist mit Hilfe eines Dreiecks illustriert. Die flüssige Phase KL strömt über die Oberkante 11 in das Kernrohr 10 hinein und mischt sich dort mit der flüssigen Phase KL des über die Leitung 17 zugeführten Kältemittels K. Das Kältemittel K kann also in dem Wärmetauscher 1A zirkulieren.

[0056] Durch das Realisieren der zuvor erläuterten Umlaufverdampfung im Rohrbündel 13 kommt es zu einem lokal höheren Anteil der flüssigen Phase KL sowie einem höheren mantelseitigen Wärmeübergangskoeffizienten. Dadurch lässt sich der Wärmeübergang erhöhen sowie die Heizfläche und die Kosten für den Wärmetauscher 1A reduzieren. "Mantelseitig" bedeutet hierbei außenseitig an Rohren des Rohrbündels 13 beziehungsweise in Spalten oder Passagen des Rohrbündels 13.

[0057] Die Zusp eisung des Kältemittels K ist nicht zwingend über den Einlassstutzen 7 und die Leitung 17 erforderlich. Die Zusp eisung kann auch an jedem anderen beliebigen Bereich des Mantels 2 erfolgen. Das Kältemittel K kann auch mehrere Komponenten umfassen. In diesem Fall ist das Kältemittel Kein Mischkältemittel (Engl.: Mixed Refrigerant). Die Umlaufverdampfung kann auch zur Trennung von Komponenten verwendet werden.

[0058] Die Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines Kernrohrs 10 für den Wärmetauscher 1A. Das Kernrohr 10 gemäß der Fig. 2 umfasst radiale Schlitze 21 bis 23, durch welche die von dem Rohrbündel 13 kommende flüssige Phase KL in das Kernrohr 10 eintreten kann. Die Anzahl der Schlitze 21 bis 23 ist beliebig. Die Oberkante 11 kann verschlossen sein. Die Oberkante 11 kann jedoch auch offen sein, so dass dem Kernrohr 10 das Kältemittel K über den Einlassstutzen 7 und die Leitung 17 zuführbar ist.

[0059] Die Fig. 3 zeigt eine schematische Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform eines gewickelten Wärmetauschers 1B. Der Wärmetauscher 1B entspricht von seinem Aufbau her im Wesentlichen dem des Wärmetauschers 1A. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den Wärmetauschern 1A, 1B eingegangen. Im Gegensatz zu dem Wärmetauscher 1A zirkuliert bei dem Wärmetauscher 1B das Kältemittel K nicht mit Hilfe des Kernrohrs 10, sondern mit Hilfe eines zwischen einem Hemd 24 und dem Mantel 2 vorgesehenen Ringspalts 25. Das Hemd 24 kann ein das Rohrbündel 13 einhüllendes rohrförmiges Bauteil sein. Das Kernrohr 10 kann an seiner Oberkante 11 und/oder an seiner Unterkante 12 fluiddicht verschlossen sein.

[0060] Dem Ringspalt 25 wird das zweiphasige Kältemittel K über den Einlassstutzen 7 und die Leitung 17, die in den Ringspalt 25 mündet, zugeführt. In dem Rings-

palt 25 stellt sich ein Flüssigkeitsstand 26 ein, der mit Hilfe von Dreiecken illustriert ist. Die gasförmige Phase KG steigt aus dem Ringspalt 25 entgegen der Schwerkraftrichtung g nach oben, wo diese über den Abzugsstutzen 8 zumindest teilweise abgezogen werden kann.

[0061] Die flüssige Phase KL strömt in der Schwerkraftrichtung g nach unten, um dann durch das Rohrbündel 13 entgegen der Schwerkraftrichtung g nach oben zu steigen. Dabei wird die flüssige Phase KL zumindest teilweise verdampft. Die gasförmige Phase KG steigt nach oben und kann über den Abzugsstutzen 8 zumindest teilweise abgezogen werden. Die flüssige Phase KL strömt über eine Oberkante 27 des Hemds 24 in den Ringspalt 25, wo sie sich mit dem über den Einlassstutzen 7 und die Leitung 17 zugeführten Kältemittel K mischt. Es findet also auch bei dem Wärmetauscher 1B eine Zirkulation des Kältemittels K und somit eine Umlaufverdampfung statt.

[0062] Die Fig. 4 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Verflüssigen von Erdgas mit Hilfe des Wärmetauschers 1A, 1B. Bei dem Verfahren wird in einem Schritt S1 das zu verflüssigende Erdgas in das Rohrbündel 13 des Wärmetauschers 1A, 1B eingespeist. Das heißt, dass das Erdgas durch das Rohrbündel 13 hindurchströmt. In einem Schritt S2 wird dem Erdgas mit Hilfe des Kältemittels K Wärme entzogen, um das Erdgas abzukühlen beziehungsweise zu verflüssigen. Das Kältemittel K umspült oder durchspült das Rohrbündel 13, wobei das Kältemittel K innerhalb des Wärmetauschers 1A, 1B mehrfach durch das Rohrbündel 13 geleitet wird, um in dem Wärmetauscher 1A, 1B einen Kältemittelumlauf oder Kältemittelkreislauf zu erzeugen.

[0063] Dabei wird das Kältemittel K entgegen der Schwerkraftrichtung g von der Eintrittsseite 15 des Rohrbündels 13 zu der Austrittsseite 16 des Rohrbündels 13 durch das Rohrbündel 13 geleitet. Das Kältemittel K wird außerhalb des Rohrbündels 13 entlang der Schwerkraftrichtung g von der Austrittsseite 16 zu der Eintrittsseite 15 geleitet. Das heißt insbesondere, dass das Kältemittel K nicht durch das Rohrbündel 13 hindurch von der Austrittsseite 16 zu der Eintrittsseite 15 geleitet wird.

[0064] Das Kältemittel K verdampft bei dem Leiten desselben durch das Rohrbündel 13 zumindest teilweise, wobei nur die flüssige Phase KL des Kältemittels K von der Austrittsseite 16 zu der Eintrittsseite 15 geleitet wird. Die gasförmige Phase KG kann abgezogen werden. Insbesondere wird die flüssige Phase KL innerhalb des Wärmetauschers 1A, 1B mit von außerhalb des Wärmetauschers 1A, 1B zugeführtem Kältemittel K vermischt. Das Mischen kann beispielsweise in dem Kernrohr 10 durchgeführt werden. Das Rohrbündel 13 ist vorzugsweise stets vollständig in das Kältemittel K eingetaucht.

[0065] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

Verwendete Bezugszeichen

[0066]

5	1A	Wärmetauscher
	1B	Wärmetauscher
	2	Mantel
	3	Basisabschnitt
	4	Deckelabschnitt
10	5	Deckelabschnitt
	6	Symmetrieachse
	7	Einlassstutzen
	8	Abzugsstutzen
	9	Abzugsstutzen
15	10	Kernrohr
	11	Oberkante
	12	Unterseite
	13	Rohrbündel
	14	Ringspalt
20	15	Eintrittsseite
	16	Austrittsseite
	17	Leitung
	18	Flüssigkeitsstand
	19	Bereich
25	20	Flüssigkeitsstand
	21	Schlitz
	22	Schlitz
	23	Schlitz
	24	Hemd
30	25	Ringspalt
	26	Flüssigkeitsstand
	27	Oberkante
	g	Schwerkraftrichtung
35	K	Kältemittel
	KG	gasförmige Phase des Kältemittels
	KL	flüssige Phase des Kältemittels
	S1	Schritt
	S2	Schritt

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verflüssigen von Erdgas mit Hilfe eines gewickelten Wärmetauschers (1A, 1B), mit folgenden Schritten:

a) Einspeisen (S1) des zu verflüssigenden Erdgases in ein Rohrbündel (13) des Wärmetauschers (1A, 1B), und

b) Entziehen (S2) von Wärme aus dem Erdgas mit Hilfe eines Kältemittels (K), welches das Rohrbündel (13) durchspült, wobei das Kältemittel (K) innerhalb des Wärmetauschers (1A, 1B) mehrfach durch das Rohrbündel (13) geleitet wird, um in dem Wärmetauscher (1A, 1B) einen Kältemittelumlauf zu erzeugen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Kältemittel (K) entgegen einer Schwerkraftrichtung (g) von einer Eintrittsseite (15) des Rohrbündels (13) zu einer Austrittsseite (16) des Rohrbündels (13) durch das Rohrbündel (13) geleitet wird. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Kältemittel (K) außerhalb des Rohrbündels (13) entlang der Schwerkraftrichtung (g) von der Austrittsseite (16) zu der Eintrittsseite (15) geleitet wird. 10
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Kältemittel (K) bei dem Leiten desselben durch das Rohrbündel (13) zumindest teilweise verdampft, und wobei nur eine flüssige Phase (KL) des Kältemittels (K) von der Austrittsseite (16) zu der Eintrittsseite (15) geleitet wird. 15
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die flüssige Phase (KL) innerhalb des Wärmetauschers (1A, 1B) mit von außerhalb des Wärmetauschers (1A, 1B) zugeführtem Kältemittel (K) vermischt wird. 20
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das von außerhalb des Wärmetauschers (1A, 1B) zugeführte Kältemittel (K) über einen Einlassstutzen (7) in den Wärmetauscher (1A, 1B) eingespeist wird. 25
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 6, wobei die flüssige Phase (KL) zumindest teilweise aus dem Wärmetauscher (1A, 1B) abgezogen wird. 30
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 7, wobei eine bei dem zumindest teilweise Verdampfen des Kältemittels (K) gebildete gasförmige Phase (KG) des Kältemittels (K) zumindest teilweise aus dem Wärmetauscher (1A, 1B) abgezogen wird. 35
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 - 8, wobei das Kältemittel (K) mit Hilfe eines Kernrohrs (10), auf welches das Rohrbündel (13) aufgewickelt ist, von der Austrittsseite (16) zu der Eintrittsseite (15) geleitet wird. 40
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Kältemittel (K) von der Austrittsseite (16) über eine Oberkante (11) des Kernrohrs (10) in das Kernrohr (10) geleitet wird. 45
11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Kältemittel (K) von der Austrittsseite (16) über zumindest einen in dem Kernrohr (10) vorgesehenen radialen Schlitz (21 - 23) in das Kernrohr (10) geleitet wird. 50
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 - 8, wobei das Kältemittel (K) mit Hilfe eines Ringspalts (25), welcher zwischen einem das Rohrbündel (13) einhüllenden Hemd (24) und einem Mantel (2) des Wärmetauschers (1B) vorgesehen ist, von der Austrittsseite (16) zu der Eintrittsseite (15) geleitet wird. 55
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Kältemittel (K) von der Austrittsseite (16) über eine Oberkante (27) des Hemds (24) in den Ringspalt (25) geleitet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 13, wobei das Rohrbündel (13) vollständig in das Kältemittel (K) eingetaucht ist.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 14, wobei das Kältemittel (K) dem Wärmetauscher (1A, 1B) zweiphasig zugeführt wird.

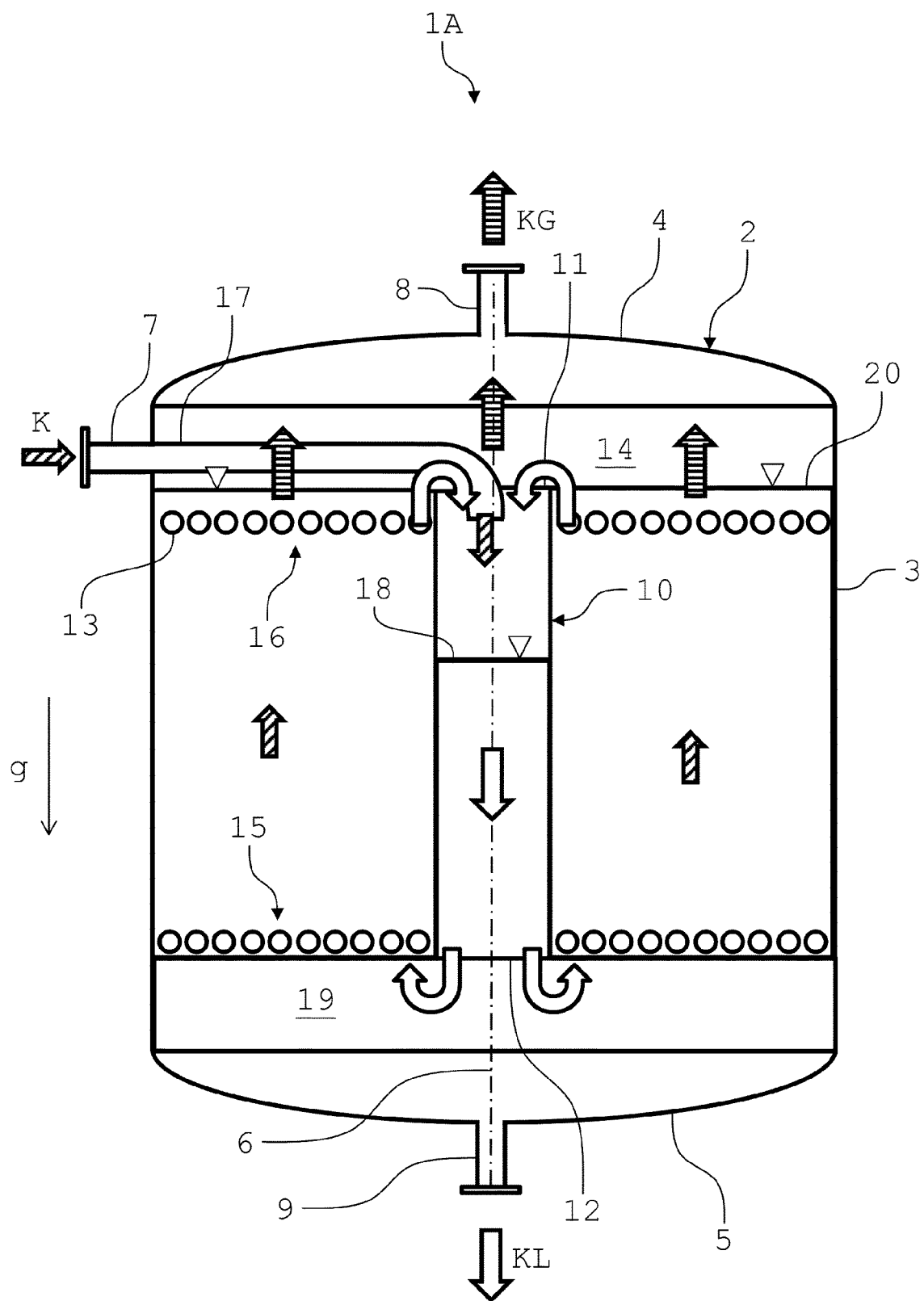


Fig. 1

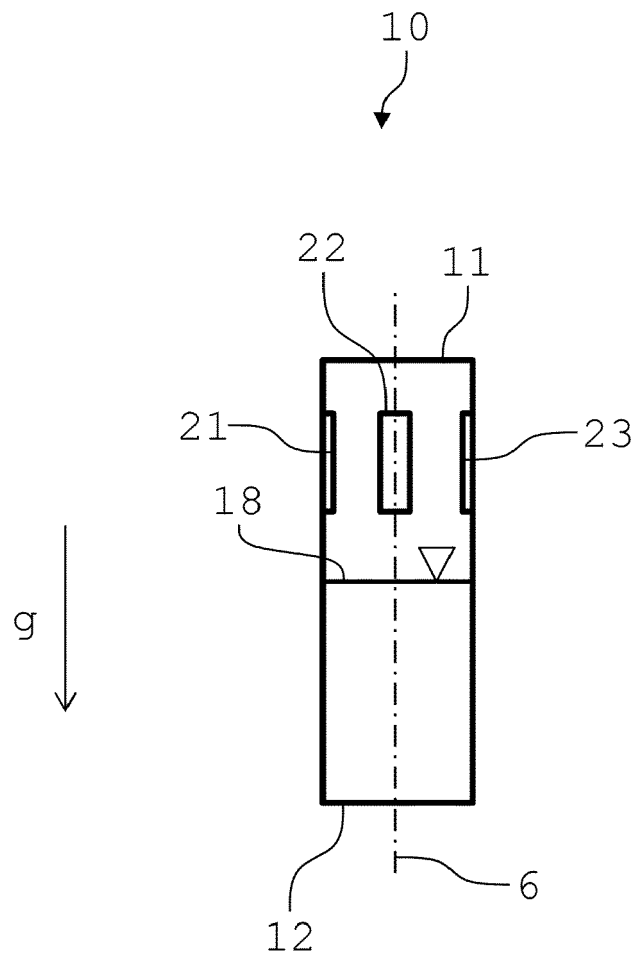


Fig. 2

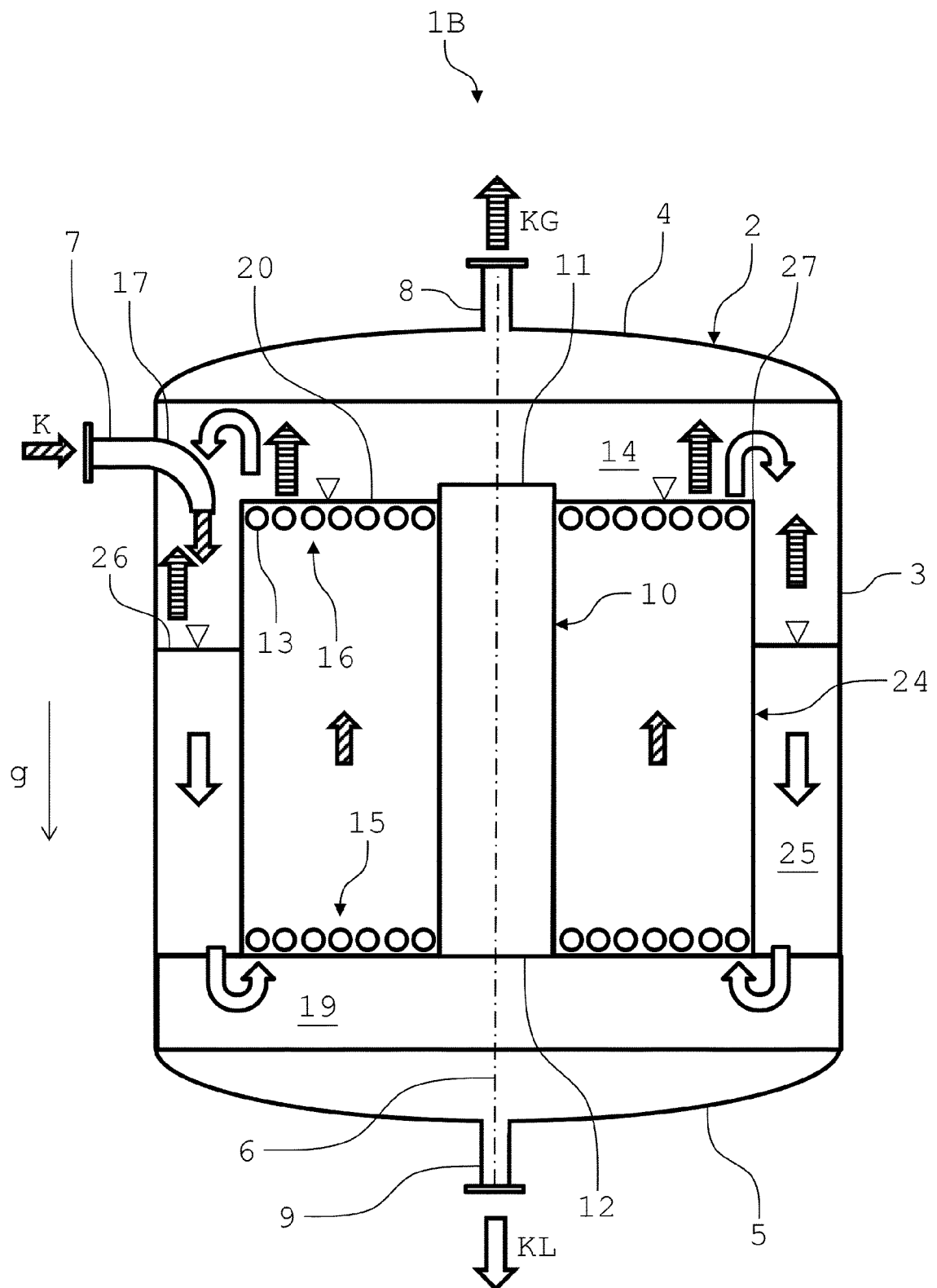


Fig.3

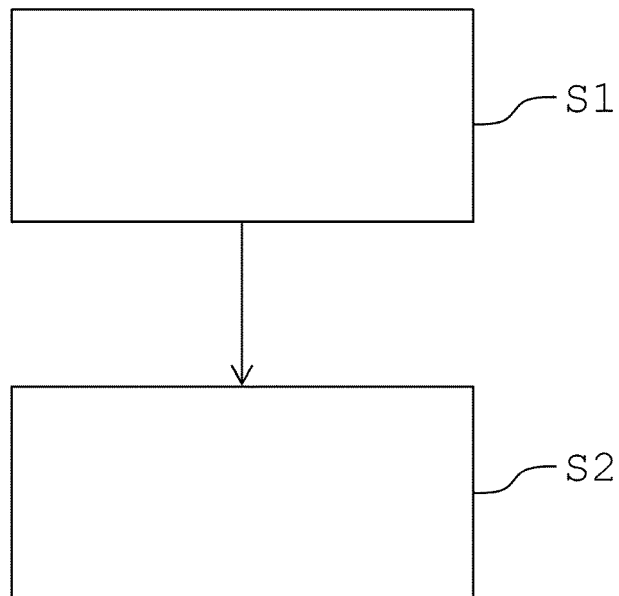


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 20 02 0645

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 385 203 A (MITSUHASHI KEN-ICHIRO [JP] ET AL) 31. Januar 1995 (1995-01-31)	1-8,14,15	INV. F25J1/00 F25J1/02 F25J5/00 F28D7/00
Y	* Spalte 2, Zeilen 14-39; Abbildung 8 *	12,13	
A	-----	9-11	
X	DE 10 2005 038266 A1 (LINDE AG [DE]; STATOIL ASA [NO]) 15. Februar 2007 (2007-02-15)	1-3,15	
A	* Absätze [0004], [0005], [0011]; Abbildungen *	4-14	
Y	RU 2 686 942 C1 (PUBLICHNOE AKTSIONERNOE OBSHCHESTVO KRIOGENNOGO MASH PAO KRIOGENMASH []) 6. Mai 2019 (2019-05-06)	12,13	
	* Absätze [0033], [0037]; Abbildungen 1,3 *		
A	DE 15 51 583 A1 (HITACHI LTD) 18. Juni 1970 (1970-06-18)	1-15	
	* Abbildungen 4,6-8 *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J F28F F28D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. Mai 2021	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 02 0645

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-05-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5385203 A	31-01-1995	DE 69401071 T2	17-04-1997
		EP 0607006 A1	20-07-1994
		JP 3323568 B2	09-09-2002
		JP H06207791 A	26-07-1994
		US 5385203 A	31-01-1995

DE 102005038266 A1	15-02-2007	AU 2006281407 A1	22-02-2007
		DE 102005038266 A1	15-02-2007
		EP 1913319 A2	23-04-2008
		WO 2007020252 A2	22-02-2007

RU 2686942 C1	06-05-2019	-----	-----
DE 1551583 A1	18-06-1970	KEINE	-----

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82